

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Nobumasa OKADA et al.**

Serial Number: **Not Yet Assigned**

Filed: **August 27, 2003**

Customer No.: **23850**

For: **OPTICAL MULTILAYER FILM AND OPTICAL SEMICONDUCTOR
DEVICE INCLUDING THE SAME**

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119

Commissioner for Patents
P. O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

August 27, 2003

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

Japanese Appln. No. 2002-255056, filed on August 30, 2002

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicants have complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copy.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,
ARMSTRONG, WESTERMAN & HATTORI, LLP



Mel R. Quintos
Reg. No. 31,898

Atty. Docket No.: 031079
Suite 1000, 1725 K Street, N.W.
Washington, D.C. 20006
Tel: (202) 659-2930
Fax: (202) 887-0357
MRQ/yap

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this office.

Date of Application: August 30, 2002

Application Number: Japanese Patent Application
No. 2002-255056
[JP2002-255056]

Applicant(s): FUJITSU QUANTUM DEVICES LIMITED

June 13, 2003

Commissioner,
Patent Office

Shinichiro Ohta (Seal)

Certificate No. 2003-3045303

日本特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application: 2002年 8月30日

出願番号

Application Number: 特願2002-255056

[ST.10/C]:

[JP2002-255056]

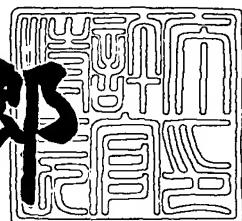
出願人

Applicant(s): 富士通カンタムデバイス株式会社

2003年 6月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3045303

【書類名】 特許願

【整理番号】 0200137

【提出日】 平成14年 8月30日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 G02B 1/10

【発明の名称】 光学多層膜及びそれを有する光半導体装置

【請求項の数】 19

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県中巨摩郡昭和町大字紙漉阿原1000番地 富士
通カンタムデバイス株式会社内

【氏名】 岡田 亘正

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県中巨摩郡昭和町大字紙漉阿原1000番地 富士
通カンタムデバイス株式会社内

【氏名】 平池 忠浩

【特許出願人】

【識別番号】 000154325

【氏名又は名称】 富士通カンタムデバイス株式会社

【代理人】

【識別番号】 100087480

【弁理士】

【氏名又は名称】 片山 修平

【電話番号】 043-351-2361

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 153948

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0203504

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学多層膜及びそれを有する光半導体装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 酸化窒化チタンを主成分とする第1層と、フッ化マグネシウムを主成分とする第2層と、前記第1層あるいは第2層とは屈折率の異なる第3層とを積層構造のすくなくとも一部に有し、該積層構造の内部に複数の反射面を備えるとともに、第2層の厚みは1/4波長より薄いことを特徴とする光学多層膜。

【請求項2】 前記第1層と第2層とは接していることを特徴とする請求項1記載の光学多層膜。

【請求項3】 前記第1層と第2層との間には別の層が介在してなることを特徴とする請求項1記載の光学多層膜。

【請求項4】 前記第3層はフッ化マグネシウムであり、前記第2層との間に前記第1層が挟まれてなることを特徴とする請求項1記載の光学多層膜。

【請求項5】 前記第3層は酸化シリコンを主成分とする層であることを特徴とする請求項1記載の光学多層膜。

【請求項6】 前記光学多層膜は、反射防止膜あるいは高反射膜であることを特徴とする請求項1記載の光学多層膜。

【請求項7】 前記第1層は、イオンアシスト蒸着によって成膜されることを特徴とする請求項1記載の光学多層膜。

【請求項8】 酸化窒化チタンを主成分とする第1層と、フッ化マグネシウムを主成分とする第2層と、前記第1層あるいは第2層とは屈折率の異なる第3層とを積層構造のすくなくとも一部に有し、該積層構造の内部に複数の反射面を備えるとともに、第2層の厚みは1/4波長より薄い光学多層膜が、光入射面あるいは光出射面に設けられてなることを特徴とする光半導体装置。

【請求項9】 前記第1層と第2層とは接していることを特徴とする請求項8記載の光半導体装置。

【請求項10】 前記第1層と第2層との間には別の層が介在してなることを特徴とする請求項8記載の光半導体装置。

【請求項11】 前記第3層はフッ化マグネシウムであり、前記第2層との間に前記第1層が挟まれてなることを特徴とする請求項8記載の光半導体装置。

【請求項12】 前記第3層は酸化シリコンを主成分とする層であることを特徴とする請求項8記載の光半導体装置。

【請求項13】 前記光学多層膜は、反射防止膜あるいは高反射膜であることを特徴とする請求項8記載の光半導体装置。

【請求項14】 前記第1層は、イオンアシスト蒸着によって成膜されることを特徴とする請求項8記載の光半導体装置。

【請求項15】 前記光半導体装置は、少なくともその光入射面あるいは光出射面が樹脂によって封止されてなることを特徴とする請求項8記載の光半導体装置。

【請求項16】 光入射面あるいは光出射面において、複数の異なる屈折率の層で構成される光学多層膜を備える光半導体装置であって、

当該光学多層膜は、最表面の層と空気あるいは不活性の気体との屈折率差を加味して生じる第1の光学特性と、前記最表面の層と該層の外側の材料との屈折率差を加味しない場合に生じる第2の光学特性とが、実質的に同じであることを特徴とする光半導体装置。

【請求項17】 前記第1の光学特性と第2の光学特性とは、前記光学多層膜の最表面の層に接して別の材料が配置された場合に要求される光学特性をともに満たすことを特徴とする請求項16記載の光半導体装置。

【請求項18】 前記第2の光学特性は、前記光学多層膜の最表面の層に接して樹脂が充填される場合に生じるものであることを特徴とする請求項16記載の光半導体装置。

【請求項19】 前記光学多層膜には、酸化窒化チタンを主成分とする層とフッ化マグネシウムを主成分とする層とが含まれることを特徴とする請求項16記載の光半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光学多層膜及びそれを有する光半導体装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、半導体レーザや光変調器等の光半導体装置は、装置内部の機密性を確保するために、金属やセラミックス等のパッケージで封止されて提供されていた。しかしながら、このような封止方式では高価なパッケージと煩雑な封止工程とが必要となり、これを安価且つ容易に提供することが困難であるという問題が存在した。

【0003】

そこで、近年では、上記の代替手段として、光半導体装置を樹脂等で封止する方式が提供された。しかしながら、この方式では、樹脂等で封止する前と後とで、光学素子である光半導体装置を覆う媒質の屈折率に差が生じるため、光半導体装置が所望する光学特性を発揮し得ないという問題が存在した。

【0004】

このような問題を解決する方法としては、例えば以下の特許文献1で例示するような技術が存在する。この従来技術は、単層の反射防止膜が形成された半導体装置を樹脂で封止する構成において、反射防止膜と樹脂との境界面で反射された光を反射防止膜内部を伝播する光で減衰（又はキャンセル）する構成を有することで、光半導体装置の光学特性の劣化を抑制するように構成されている。

【0005】

一方、反射防止膜等の光学膜の透過率をより向上させるために、これを多層膜で構成することが一般的に知られている（例えば特許文献2参照）。しかしながら、本従来技術では、光半導体装置の光学特性を高く且つ安定化できる技術について検討がなされていない。

【0006】

【特許文献1】

特開2001-42169号公報

【特許文献2】

特開平7-113901号公報

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

そこで本発明は、光学特性をより安定化する光学多層膜及びそれを有する光半導体装置を提供することを目的とする。

【0008】

また、本発明は、上記の目的を達成し、且つ樹脂等で封止した状態と封止しない状態とで透過率が劣化することが防止された光学多層膜及びそれを有する光半導体装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

かかる目的を達成するために、本発明による光学多層膜は、請求項1記載のように、酸化窒化チタンを主成分とする第1層と、フッ化マグネシウムを主成分とする第2層と、前記第1層あるいは第2層とは屈折率の異なる第3層とを積層構造のすくなくとも一部に有し、該積層構造の内部に複数の反射面を備えるとともに、第2層の厚みは1/4波長より薄い構成を有する。このように、応力の制御性に富む酸化窒化チタンを用いることで、低屈折率光学膜として有用なフッ化マグネシウムの応力を酸化窒化チタンで制御できるため応力が低減された光学多層膜を製造することが可能となる。更に、本発明では、最低でも3層の多層構造を有することで光学多層膜内部に複数の反射面が形成されるため、高屈折率光学膜である第2層の膜厚を光学距離に換算した1/4波長より薄くした場合でも、反射光の干渉を起こさせることが可能となる。尚、本発明においては酸化窒化チタンあるいはフッ化マグネシウムはそれぞれの元素のみで構成されているという意味に限定されるのではなく、それぞれの元素に微量な他の元素が混在していても、その光学特性あるいは応力が同等であれば、その範疇である。

【0010】

また、上記の光学多層膜は、好ましくは請求項2記載のように、前記第1層と第2層とが接しているように構成される。このように、酸化窒化チタンとフッ化マグネシウムとは直接接していてもよい。

【0011】

また、上記の光学多層膜は、例えば請求項3記載のように、前記第1層と第2層との間に別の層を介在してもよい。このように、酸化窒化チタンとフッ化マグネシウムとの間には、別の層が介在していても本発明はその効果を發揮できる。これは、光学多層膜が生じる応力を光学多層膜全体で抑制することができれば、この光学多層膜が設けられる半導体に対して不都合な応力の印可を防止できるためである。

【0012】

また、上記の光学多層膜は、好ましくは請求項4記載のように、前記第3層がフッ化マグネシウムであり、前記第2層との間に前記第1層が挟まれてなるように構成される。このように、酸化窒化チタンがフッ化マグネシウムによって両側を挟まれる構造であっても、酸化窒化チタンによる応力制御によって、フッ化マグネシウムによる応力抑制効果が得られる。

【0013】

また、上記の光学多層膜は、例えば請求項5記載のように、前記第3層が酸化シリコンを主成分とする層である構成としてもよい。このように、半導体と接する部分に応力の小さい酸化シリコンを用いることで、本発明の応力抑制効果を更に高めることができる。

【0014】

また、上記の光学多層膜は、例えば請求項6記載のように、前記光学多層膜が、反射防止膜あるいは高反射膜であるように構成されてもよい。このように本発明は、光学多層膜であれば、反射防止膜あるいは高反射膜の何れにおいても利用可能である。反射防止膜とするか高反射膜とするかは、これと接する半導体に対して高屈折率材料が接するか、低屈折率材料が接するかなど、公知の設計手法によって、適宜実現可能であることは言うまでもない。

【0015】

また、上記の光学多層膜は、好ましくは請求項7記載のように、前記第1層がイオンアシスト蒸着によって成膜されている。即ち、酸化窒化チタンを主成分とする膜は、その制御性に富むイオンアシスト蒸着を用いて成膜される。

【0016】

また、本発明による光半導体装置は、請求項8記載のように、酸化窒化チタンを主成分とする第1層と、フッ化マグネシウムを主成分とする第2層と、前記第1層あるいは第2層とは屈折率の異なる第3層とを積層構造のすくなくとも一部に有し、該積層構造の内部に複数の反射面を備えるとともに、第2層の厚みが1/4波長より薄い光学多層膜が、光入射面あるいは光出射面に設けられてなる構成を有する。このように、応力の制御性に富む酸化窒化チタンを用いることで、低屈折率光学膜として有用なフッ化マグネシウムの応力を酸化窒化チタンで制御できるため応力が低減された光学多層膜を用いて光半導体装置を製造することが可能となる。更に、本発明では、最低でも3層の多層構造を有することで光学多層膜内部に複数の反射面が形成されるため、高屈折率光学膜である第2層の膜厚を光学距離に換算した1/4波長より薄くした場合でも、反射光の干渉を起こさせることが可能となる。尚、本発明においては酸化窒化チタンあるいはフッ化マグネシウムはそれぞれの元素のみで構成されているという意味に限定されるのではなく、それぞれの元素に微量な他の元素が混在していても、その光学特性あるいは応力が同等であれば、その範疇である。

【0017】

また、上記の光半導体装置は、好ましくは請求項9記載のように、前記第1層と第2層とが接しているように構成される。このように、酸化窒化チタンとフッ化マグネシウムとは直接接していてもよい。

【0018】

また、上記の光半導体装置は、例えば請求項10記載のように、前記第1層と第2層との間に別の層が介在してもよい。このように、酸化窒化チタンとフッ化マグネシウムとの間には、別の層が介在していても本発明はその効果を発揮できる。これは、光学多層膜が生じる応力を光学多層膜全体で抑制することができれば、この光学多層膜が設けられる半導体に対して不都合な応力の印可を防止できるためである。

【0019】

また、上記の光半導体装置は、好ましくは請求項11記載のように、前記第3層はフッ化マグネシウムであり、前記第2層との間に前記第1層が挟まれてなる

ように構成される。このように、酸化窒化チタンがフッ化マグネシウムによって両側を挟まれる構造であっても、酸化窒化チタンによる応力制御によって、フッ化マグネシウムによる応力抑制効果が得られる。

【0020】

また、上記の光半導体装置は、例えば請求項12記載のように、前記第3層が酸化シリコンを主成分とする層である構成としてもよい。このように、半導体と接する部分に応力の小さい酸化シリコンを用いることで、本発明の応力抑制効果を更に高めることができる。

【0021】

また、上記の光半導体装置は、例えば請求項13記載のように、前記光学多層膜が、反射防止膜あるいは高反射膜であるように構成されてもよい。このように本発明は、光学多層膜であれば、反射防止膜あるいは高反射膜の何れにおいても利用可能である。反射防止膜とするか高反射膜とするかは、これと接する半導体に対して高屈折率材料が接するか、低屈折率材料が接するかなど、公知の設計手法によって、適宜実現可能であることは言うまでもない。

【0022】

また、上記の光半導体装置は、好ましくは請求項14記載のように、前記第1層がイオンアシスト蒸着によって成膜されている。即ち、酸化窒化チタンを主成分とする膜は、その制御性に富むイオンアシスト蒸着を用いて成膜される。

【0023】

また、上記の光半導体装置は、例えば請求項15記載のように、少なくともその光入射面あるいは光出射面が樹脂によって封止されてなるように構成することもできる。このように本発明は、樹脂によって封止された場合であっても、同様に上記の効果を発揮することができる。

【0024】

また、本発明は、請求項16記載のように、光入射面あるいは光出射面において、複数の異なる屈折率の層で構成される光学多層膜を備える光半導体装置であって、当該光学多層膜が、最表面の層と空気あるいは不活性の気体との屈折率差を加味して生じる第1の光学特性と、前記最表面の層と該層の外側の材料との屈

折率差を加味しない場合に生じる第2の光学特性とが、実質的に同じである構成を有する。このように、本発明は、光学多層膜の最表層が気体に接する場合と、最表層の屈折率と類似する樹脂などによって封止される場合とで、その光学特性の変動を抑えることが可能である。即ち、最表層の材料と類似の屈折率を持つ樹脂によって封止する場合、最表層はその外側の材料とともに光学的には均質であると近似できる点に着目し、最表層との最表面の層と空気あるいは不活性の気体との屈折率差を加味して生じる第1の光学特性と、当該最表層とその外側の材料との屈折率差を加味しない場合に生じる第2の光学特性とを実質的に同じに設計することで、樹脂などの充填前後で光学特性の変動を防止し、樹脂などを充填する前に測定された光学特性が、樹脂などの充填後も変わらないように構成される。

【0025】

また、上記の光半導体装置は、好ましくは請求項17記載のように、前記第1の光学特性と第2の光学特性とが、前記光学多層膜の最表面の層に接して別の材料が配置された場合に要求される光学特性をともに満たすように構成される。このように第1の光学特性と第2の光学特性とが、最終的なデバイス形態（たとえば樹脂封止された形態）で要求される光学特性をともに満たすことで、最表層が気体であるか、その他の材料で充填されているかの違いなく、所望の光学特性を得ることができる。

【0026】

また、上記の光半導体装置は、例えば請求項18記載のように、前記第2の光学特性が、前記光学多層膜の最表面の層に接して樹脂が充填される場合に生じるものであるように構成することもできる。即ち、第2の光学特性は、樹脂によって生じるものである。

【0027】

また、上記の光半導体装置は、例えば請求項19記載のように、前記光学多層膜に酸化窒化チタンを主成分とする層とフッ化マグネシウムを主成分とする層とが含まれてなる構成を有する。このように本発明によれば、低屈折率材料として優秀なフッ化マグネシウムを応力の問題を抑制しつつ採用することができる。

【0028】

【発明の実施の形態】

〔原理〕

従来技術として存在する2層構造を有する光学多層膜では、その内部に1つしか反射面が存在しない。このため、この反射面では、光学多層膜の外側（空気など）との屈折率差で生じる反射面での反射光としか干渉を起こすことができない。従って、2つの光を干渉させる場合、2層構造の光学多層膜は光学距離に換算した1/4波長の厚みの膜を有することがその設計条件とされるため、これよりも薄い膜を形成しても所望する光学多層膜の機能を得ることが不可能である。

【0029】

これに対して、本実施形態のように3層以上の積層構造を有する光学多層膜を形成することで、その内部に複数の反射面が形成される。このため、複数ある反射面のいずれか同士に干渉を生じさせられれば、光学多層膜としての機能が実現されるため、各膜の厚みを光学距離に換算した1/4波長より薄くすることが可能となり、酸化窒化チタンによる応力制御性を向上させることが可能となる。

【0030】

これを実現するため、本発明は、酸化窒化チタンを主成分とする第1層と、フッ化マグネシウムを主成分とする第2層と、前記第1層あるいは第2層とは屈折率の異なる第3層とを積層構造のすくなくとも一部に有し、その内部に複数の反射面を備えるとともに、第2層の厚みは1/4波長より薄い構成を有する。

【0031】

一般的に光学多層膜は、屈折率の異なる材料の組み合わせによって生じる多重反射や干渉を利用して、反射防止特性や高反射特性など、所定の光学特性を実現するものである。このため、光学多層膜を構成する膜には、所定の屈折率差を実現できることが重要であり、一般には屈折率差を大きく出来る材料の組み合わせを必要とする。そこで本発明者は、フッ化マグネシウムが屈折率が低い材料であり、これを光学多層膜の材料として採用すれば、屈折率の高い側の材料との屈折率差が大きく出来ることに着目し、これを採用することを検討した。

【0032】

しかしながら、本発明者らは、光学多層膜が光半導体に対して大きな応力を印加することは避けなければならないが、このフッ化マグネシウムが製造条件などを制御しても応力自体はさほど変化しない材料であることを見出した。そこで、本発明は、上記のようにフッ化マグネシウムに酸化窒化チタンを組み合わせる構成を有する。

【0033】

この酸化窒化チタンは、製造条件などによってその応力の制御性に富んでいる。即ち、酸化窒化チタンとフッ化マグネシウムとの組み合わせにより、低屈折率光学膜として有用なフッ化マグネシウムの応力を酸化窒化チタンが制御できるため、応力の低減された光学多層膜が期待できる。

【0034】

但し、単に酸化窒化チタンとフッ化マグネシウムとの2層構造の光学多層膜を形成する場合には、応力の低減効果は低い。これは、光学多層膜が屈折率の異なる面で生じる反射光同士の干渉によって、所定の光学効果を発揮するためである。このため、2層構造の光学多層膜では、その内部に反射面が1箇所しか存在しなく、干渉を生じさせるために最低でも $1/4$ 波長の厚みが必要となる。従って、これ以上薄く構成した場合では干渉を生じさせることが困難である。換言すれば、酸化窒化チタンとフッ化マグネシウムとの2層構造では、各層の厚みを小さくすることができず、酸化窒化チタンの採用によって応力制御が可能になった反面、フッ化マグネシウムの層の応力制御性に限界が生じてしまう。

【0035】

そこで本発明では、上記のように、酸化窒化チタンとフッ化マグネシウムとの他にさらに層を追加し、その内部に複数の反射面を形成する。この構成により、光学多層膜の内部に複数の反射面が形成されるため、複数ある反射面の何れかの組み合わせで干渉を生じるように構成すればよい。言い換えれば、光学距離に換算した $1/4$ 波長より薄く構成した場合でも、設計により干渉を生じさせることが可能となる。

【0036】

以下、これを実現する本発明の実施形態を図面を用いて詳細に説明する。尚、

以下の説明において、酸化窒化チタンあるいはフッ化マグネシウムはそれぞれの元素のみで構成されているという意味に限定されるのではなく、それぞれの元素に微量な他の元素が混在していても、その光学特性あるいは応力が同等であれば、その範疇である。

【0037】

【第1の実施形態】

まず、本発明の第1の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。図1は、本実施形態による光半導体装置100Aの概略構成を示す断面図である。尚、図1では半導体チップ10の光軸に沿った断面図を示す。

【0038】

図1に示すように、本実施形態では半導体チップ10の一方の端若しくは両端に多層構造を有する光学多層膜13が形成されている。個々の光学多層膜13は、半導体チップ10に接する第1層13aから最外に位置する第3層13cまでの3層構造を有しており、樹脂200による封止された状態と封止されない状態とで良好な透過特性を発揮するように形成されている。換言すれば、本実施形態による光学多層膜13は、空気（又は真空）及び樹脂の双方に対して反射防止膜として機能するように構成される。尚、樹脂200による封止は、出荷時や可動時に光学多層膜13及び半導体チップ10を保護することを目的としており、光半導体装置100Aの性能を保証するために有効で且つ安価及び容易な手法である。

【0039】

このように双方に対して反射防止膜として作用するように設計する方法は、例えば使用する樹脂200の屈折率に基づいて最外に位置する第3層13cの大まかな条件をまず決定し、次に第1層13a及び第2層13bで構成される多層膜が樹脂200に対して反射防止膜として作用するように設計し、最後に空気（又は真空）の屈折率に対して光学多層膜13全体が反射防止膜として作用するよう第3層13cを上記の条件内で設計する手順で実現される。尚、樹脂200としては、例えばエポキシ樹脂等が適用される。

【0040】

また、この手順に基づいて設計した場合、光学多層膜13における各層の屈折率は、第2層13bが最も高く、第1層13a及び第3層13cが第2層13bの屈折率よりも低いという関係を有する。

【0041】

以上の手順に基づいて設計することで、光半導体装置100Aの特性（性能）評価の際と、これを実際に使用する際とで同等に反射防止膜として機能する光学多層膜13が実現され、使用の際の光学特性が仕様と異なる光半導体装置100Aを実現することができる。

【0042】

また、本発明者らは、応力の異なる層を積層して光学多層膜を形成した場合、半導体チップにストレスが発生し、光半導体装置の光学特性が経時に劣化することを見いだした。これは、図2(a), (b)に示すように、時間に伴い、光半導体装置の動作閾値電流（光半導体装置が動作するための最小の電流）が上昇することからも証明される。尚、図2は、第1層（半導体チップと接する層）を膜厚が57.0nm, 屈折率が1.37のMgF膜で形成し、第3層（最外に位置する層）を膜厚が100.0nm, 屈折率が1.37のMgF膜で形成し、第2層（第1層及び第3層で挟まれた層）を膜厚が100.0nm, 屈折率が2.27のTiO膜で形成した半導体装置に関してスクリーニングを行った結果であり、(a)は応力（圧縮ストレス）がかかった状態、(b)は応力のかからない（又は小さい）状態になるように、それぞれ膜を付けて測定した結果である。図(a), (b)から明らかなように、応力がかかっている場合、スクリーニングによって特性（閾値）が安定しづらい。

【0043】

そこで本実施形態による光学多層膜13は、相反する性質の応力を生じる層が積層された構造を有するように構成する。即ち、本実施形態では、引張と圧縮との応力を配置することで、多層膜全体としてこれを相殺し、半導体チップ10にストレスが生じることを防止する。例えば、第1層13aと第3層13cとの間に、応力調整のための第2層13bを設けることで、半導体チップ10の端面（光学多層膜13が形成された面）にストレスが発生することを防止する。これを

図1に基づいて説明すると、第1層13a及び第3層13cは例えば性質が圧縮の応力を生じる材料を用いて形成し、これらに挟まれる第2層13bは上記とは逆に性質が引張の応力を生じる材料を用いて形成する。以下、本実施形態による光半導体装置100Aの詳細を図面を用いて詳細に説明する。

【0044】

図3は本実施形態による光半導体装置100Aの構成を示す斜視図であり、図4はこの光半導体装置100Aの構成を示すA-A'断面図である。尚、本実施形態では、半導体装置100Aとして分布帰還形レーザ（DFBレーザ）を例に挙げて説明する。

【0045】

半導体装置100Aは半導体チップ10と光学多層膜13とを含んで構成される。半導体チップ10は、図3及び図4に示すように、回折格子2が形成された半導体基板1上に、n型クラッド層3と活性層4とp型クラッド層5とp型層6とコンタクト層7とが、メサ状に形成された構成を有する。活性層4は例えばMQW (Multi-Quantum Well) 等で形成される。また、メサ構造以外の領域には、半絶縁性埋め込みヘテロ領域9が形成される。

【0046】

この層構造における上部と下部にはそれぞれ上部電極11と下部電極12とが形成される。尚、コンタクト層7上の上部電極11以外の領域にはキャップ層8が形成される。

【0047】

以上の構成は、例えば半導体基板1への選択エピタキシャル成長や、選択エッチングやメサ埋め込み成長や基板研磨や電極堆積やパターニングやへき開等の方法を用いて形成することが可能である。

【0048】

このような構成を有する半導体チップ10の両端には、それぞれ反射防止膜として機能する光学多層膜13が形成される。この光学多層膜13は3層（13a, 13b, 13c）の構造を有しており、中央の層13bがこれを挟む2つの層（13a, 13c）と異なる性質の応力を発生する材料で形成されている。即ち

、本実施形態による光学多層膜13は、材質や製法によって生じる密着性、結晶構造で、それぞれの膜が隣接する材料との間で発生する応力が相互に相殺される構成を有する。これにより、半導体チップ10の端面にストレスが生じることを防止し、安定した光学特性を得られる構成となる。

【0049】

光学多層膜13において、中央に位置する第2層13bは、例えば酸化窒化チタン(TiON)で形成される。このTiONは引張の応力を発生する材料である。従って、これを挟む層(第1層13a, 第3層13c)は、第2層13bと逆の性質である圧縮の応力を発生する材料で形成される。この材料としては、例えばフッ化マグネシウム(MgF)が存在する。但し、この他にも例えばフッ化シリコン(SiF)等を用いてもよい。尚、本実施形態において、各材料の組成比は限定されないため、これを省略して説明する。

【0050】

また、光学多層膜13における各層は、上述にもあるように、それぞれの条件で反射防止膜として機能するように設計されている。以下、この設計手順も含め、光半導体装置100Aの製造方法について図面を用いて詳細に説明する。但し、本実施形態では、半導体チップ10として上記したDFBレーザに限定されず、如何なる光半導体素子を使用してもよいため、以下の説明では半導体チップ10の製造方法を省略する。

【0051】

図5は、本実施形態による光半導体装置100Aの製造プロセスを示す断面図である。尚、図5では、上記と同様にA-A'断面図を用いる。

【0052】

本製造プロセスでは、まず、完成後の光半導体装置100Aを封止するための樹脂200の屈折率に基づいて、第3層13cの条件(材料、膜厚、成膜方法等)を大まかに決定する。即ち、樹脂200と同程度の屈折率を有し、第3層13cの外側(半導体チップ10と反対側)の面で反射された光が第3層13cを伝播する光で減衰(又はキャンセル)される膜厚を有するような第3層13cが形成される条件を大まかに決定する。

【0053】

次に、第1層13a及び第2層13bからなる多層膜が樹脂200に対して反射防止膜として作用するように、第1層13a及び第2層13bを設計する。これは、樹脂200の屈折率に基づいて、第1層13a、第2層13bの材料や膜厚や成膜方法を決定することで行われる。

【0054】

その後、第1層13a、第2層13b及び第3層13cより成る光学多層膜13が特性評価の際の条件（大気や真空）下で反射防止膜として作用するように、第3層13cを設計する。これは、上記で決定した条件と、第1層13a及び第2層13bの構成とを考慮して行われる。

【0055】

このように、光学多層膜13の構成を設計すると、次に、図5(a)に示すように、製造した半導体チップ10に対して上記の光学多層膜13を形成する。この過程では、まず、半導体チップ10における所定の面上に第1層13aを成膜する。これは蒸着法やエピタキシャル成長法等、如何なる方法を用いも良い。本実施形態では第1層13aを膜厚が62.0nmのMgF膜で形成する。また、この際、第1層13aの屈折率が1.37となるように形成する。

【0056】

次に、図5(b)に示すように、形成した第1層13a上に第2層13bを成膜する。但し、この成膜には、第1層13aとの密着性やストレスを鑑みてイオンアシスト蒸着法を用いる。図6にイオンアシスト蒸着するための装置構成を示す。但し、本実施形態では、第2層13bとして膜厚が70.0nmのTiON膜を形成する場合について説明する。また、この最、第2層13bの屈折率が2.48となるように形成する。

【0057】

図6を参照すると、イオンアシスト蒸着装置は、装置室51の上側に半導体チップ10を装着する回転ドーム52が回転部52aにより回転可能に取り付けられている。また、蒸着室51の下側の一方の角には、原料物質収納用のカートリッジ式ハース53が回転ドーム52の基板装着面に対向して取り付けられている

。また、カートリッジ式ハース53内の原料に電子を照射するための電子ガン54が設けられている。

【0058】

更に、蒸着室51の下側の別の隅には、カウフマン型のイオンガン56（直径80mm、ドーム中心まで1100mm）が回転ドーム52の基板装着面に対向して取り付けられている。このイオンガン56は、イオン化ガス導入口57から導入されたガスを内部にあるフィラメントから放出される熱電子によりイオン化し、イオン加速電極58の印加電圧によって回転ドーム52に向けて放出する。

【0059】

また、蒸着室51の側壁のうちイオンガン56と回転ドーム52との間の領域には、ガス導入口59が設けられている。このガス導入口59から導入されるガスは、自動圧力調整器60により流量が調整される。また、蒸着室51のうちガス導入口59と反対側の側壁には排気口61が形成され、その近傍には水晶振動子式蒸着速度モニタ62が取り付けられている。

【0060】

回転ドーム52の中央の上には、反射光によって膜厚をモニタする第1の光電式膜厚モニタ63が設けられている。この第1の光電式膜厚モニタ63は、回転ドーム52の中央にあるモニタ用ガラス基板64の表面に形成された膜の膜厚をモニタする。また、第1の光電式膜厚モニタ63に対向し且つイオンガン56と電子ガン54との間の位置には、第2の光電式膜厚モニタ65が取り付けられている。この第2の光電式膜厚モニタ65は、モニタ用ガラス基板64表面の膜の膜厚を透過光によって測定する。

【0061】

このようなイオンアシスト蒸着装置を用いてTiON膜を形成するにあたり、まず、モニタ用ガラス基板64の周囲の回転ドーム52の下面に、第1層13aが形成された半導体チップ10を装着し、また、原材料であるTi₃O₅を充填したカートリッジ式ハース53を蒸着室51内に装着する。次に、排気口61から蒸着室51内のガスを排気する。更に、イオン化ガス導入口57を通してイオンガン56内に酸素(O₂)ガスを供給し、イオン加速電極58に1kVの電圧

を印加してイオンガン56内に20mAのイオン電流を流す。これにより、酸素がイオン化されて蒸着室51内に放出される。

【0062】

また、ガス導入口59を通して窒素(N_2)ガスを蒸着室51内に導入する。このとき、ガス導入口59から導入されるガスの流量が自動圧力調整器60により所定の流量に調整される。また、電子ガン54から放出される電子ビームは、磁界によって軌跡が180度変えられ、カートリッジ式ハース53内の Ti_3O_5 に照射される。これにより、蒸気化された Ti_3O_5 が、開かれたシャッタ55を介して回転ドーム52の下面へ放出される。

【0063】

この際、電子ガン54内の電極に例えば6.0kVの電圧を印加する。このように蒸気化された酸化チタンとイオン化された酸素及び窒素とを、回転ドーム52の下の半導体チップ10とその側方のモニタ用ガラス基板64とのそれぞれに供給することで、 $TiON$ 膜が0.03~0.08nm/sの蒸着速度で成膜される。尚、蒸着速度は電子ガン54に流す電流によって調整できる。

【0064】

また、 $TiON$ 膜の成長度合いは、回転ドーム52側の第1の光電式厚膜モニタ63により検出される。第1の光電式厚膜モニタ63は光源と光検出器とを有し、モニタ用ガラス基板64又はその表面に堆積した $TiON$ 膜で反射された光源からの光を計測することで $TiON$ の膜厚を測定する。

【0065】

また、 $TiON$ 膜の膜厚は、第2の光電式厚膜モニタ65によっても検出される。更に、カートリッジ式ハース53から蒸気化された物質の一部は、水晶振動式蒸着速度モニタ62内の水晶板の上に堆積する。従って、水晶振動式蒸着速度モニタ62は、その堆積量の増加によって生じる水晶板の振動数の変動に基づいて蒸着速度を測定する。

【0066】

このように第2層13bまでを成膜すると、図5(c)に示すように、成膜した第2層13b上に第3層を成膜する。これは蒸着法やエピタキシャル成長法等

、如何なる方法を用いも良い。本実施形態では第3層13cを膜厚が100.0 nmのMgF膜で形成する。また、この際、第3層13cの屈折率は1.37となるように形成する。

【0067】

以上のように設計、製造した光半導体装置100Aに関する動作閾値電流の経時的变化を図7に示す。図7に示すように、本実施形態により、時間経過に対する光半導体装置100Aの動作閾値電流を安定化すること可能となる。即ち、本実施形態の構成を有することで、半導体チップ10の端面にストレスが生じることが防止され、光半導体装置100Aの光学特性が安定化された。これは、図2(a)に示すグラフと比較すると容易に理解できる。

【0068】

以上のように、本実施形態によれば、特性(性能)評価の際と、これを実際に使用する際とで同等に反射防止膜として機能する光学多層膜13が実現され、使用の際の光学特性が仕様と異ならない光半導体装置100Aを実現することができる。更に、引張と圧縮との応力を混在して配置することで、半導体チップ10にストレスが生じることを防止し、光半導体装置100Aの特性を安定化することが可能となる。尚、この効果は、樹脂200で光半導体装置100Aを封止した際により顕著に現れる。

【0069】

また、本実施形態において、半導体チップ10には上記したDFBレーザに限らず、例えばファブリ・ペロー型レーザや面発光レーザや発光ダイオードや光変調器等、種々の光半導体素子を適用することが可能である。

【0070】

〔第2の実施形態〕

次に、本発明の第2の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。第1の実施形態では、半導体チップ10と接する第1層13aをMgFで形成していた。しかしながら、本発明者らは、第1層13aにMgF膜を適用した場合、図8に示すように、このMgF膜(第1層13aのみ)に1μm角程度の亀裂が生じる可能性が存在することを見いだした。

【0071】

そこで、本実施形態では、このような不具合を解消するために、第1層13aを例えれば酸化シリコン(SiO)で形成する。これにより、亀裂が生じない光学多層膜13が形成され、光半導体装置100Aの光学特性を安定化することができる。

【0072】

尚、SiOを用いた第1層13aの形成は、例えば蒸着法やエピタキシャル成長法等、如何なる方法を用いも良い。本実施形態では第1層13aを膜厚が50.0μmのSiO膜で形成する。また、この際、第1層13aの屈折率は1.45となるように形成する。

【0073】

以上のように構成することで、本実施形態では、第1の実施形態による効果の他に、第1層13aに亀裂が生じることを防止でき、より光半導体装置100Aの光学特性を安定化することができる。尚、他の構成は、第1の実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0074】

【第3の実施形態】

次に、本発明の第3の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。第1の実施形態では、3層構造の光学多層膜13を反射防止膜として機能させていた。本実施形態では同様な構成に新たな層を追加することで、反射膜又は半透過膜を形成する場合について図面を用いて詳細に説明する。

【0075】

図9は、本実施形態による光半導体装置300の概略構成を示す断面図である。尚、図9では半導体チップ10の光軸に沿った断面図を示す。

【0076】

図9を参照すると明らかなように、光半導体装置300は、第1の実施形態と同様な半導体チップ10の一方の端面又は両端面に第4層14が形成されており、この第4層14上に第1の実施形態と同様な光学多層膜13が形成されている。この第4層14は、光学多層膜13における第1層13aよりも高い屈折率を

有するように構成される。このように、光学多層膜13と半導体チップ10との間に第1層13aよりも高い屈折率の第4層14を設けることで、第4層14を含む光学多層膜全体を反射膜として機能させることが可能となる。また、他の構成は、第1の実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0077】

【他の実施形態】

以上、説明した実施形態は本発明の好適な一実施形態にすぎず、本発明はその趣旨を逸脱しない限り種々変形して実施可能である。

【0078】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、応力の制御性に富む酸化窒化チタンを用いることで、低屈折率光学膜として有用なフッ化マグネシウムの応力を酸化窒化チタンで制御できるため応力が低減された光学多層膜及びそれを有する光半導体装置を製造することが可能となる。更に、本発明では、最低でも3層の多層構造を有することで光学多層膜内部に複数の反射面が形成されるため、高屈折率光学膜である第2層の膜厚を光学距離に換算した1/4波長より薄くした場合でも、反射光の干渉を起こさせることが可能となる。尚、本発明においては酸化窒化チタンあるいはフッ化マグネシウムはそれぞれの元素のみで構成されているという意味に限定されるのではなく、それぞれの元素に微量な他の元素が混在していても、その光学特性あるいは応力が同等であれば、その範疇である。

【0079】

また、本発明によれば、光学多層膜の最表層が気体に接する場合と、最表層の屈折率と類似する樹脂などによって封止される場合とで、その光学特性の変動を抑えることが可能である。即ち、最表層の材料と類似の屈折率を持つ樹脂によって封止する場合、最表層はその外側の材料とともに光学的には均質であると近似できる点に着目し、最表層との最表面の層と空気あるいは不活性の気体との屈折率差を加味して生じる第1の光学特性と、当該最表層とその外側の材料との屈折率差を加味しない場合に生じる第2の光学特性とを実質的に同じに設計することで、樹脂などの充填前後で光学特性の変動を防止し、樹脂などを充填する前に測

定された光学特性が、樹脂などの充填後も変わらないように構成される。

【0080】

更に、本発明によれば、第1の光学特性と第2の光学特性とが、最終的なデバイス形態（たとえば樹脂封止された形態）で要求される光学特性をともに満たすことで、最表層が気体であるか、その他の材料で充填されているかの違いなく、所望の光学特性を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1の実施形態による光半導体装置100Aの概略構成を示す断面図である。

【図2】

光半導体装置における動作閾値電流の経時的変化を示すグラフであり、(a)は応力を発生する光学多層膜を有する光半導体装置の特性を示し、(b)は応力を発生しない光学多層膜を有する光半導体装置の特性を示す。

【図3】

本発明の第1の実施形態による光半導体装置100Aの構成を示す斜視図である。

【図4】

図3に示す光半導体装置100AのA-A'断面図である。

【図5】

本発明の第1の実施形態による光半導体装置100Aの製造プロセスを示す断面図である。

【図6】

図5に示す製造プロセスにおいて第2層13bを成膜する際に使用するイオンアシスト蒸着装置の構成を示す図である。

【図7】

本発明の第1の実施形態による光半導体装置100Aにおける動作閾値電流の経時的変化を示すグラフである。

【図8】

第1層13aにフッ化マグネシウムを使用し且つ第2層13bに酸化窒化チタンを使用した場合に第1層13aに生じた亀裂を示す図である。

【図9】

本発明の第3の実施形態による光半導体装置300の構成を示す断面図である

【符号の説明】

10 半導体チップ

13 光学多層膜

13a 第1層

13b 第2層

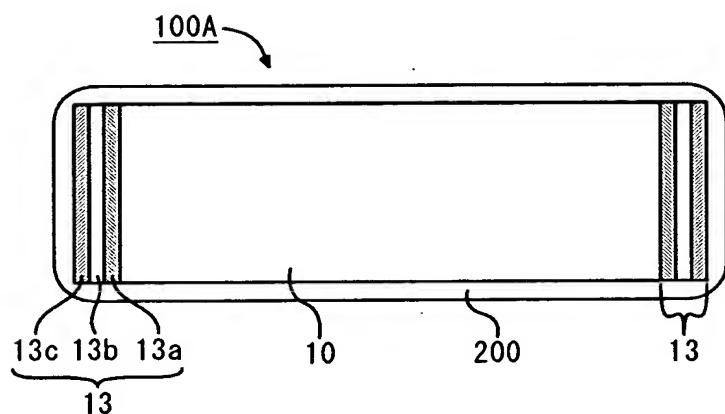
13c 第3層

100A、300 光半導体装置

200 樹脂

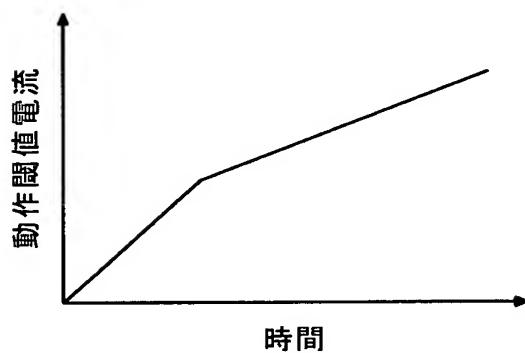
【書類名】 図面

【図1】

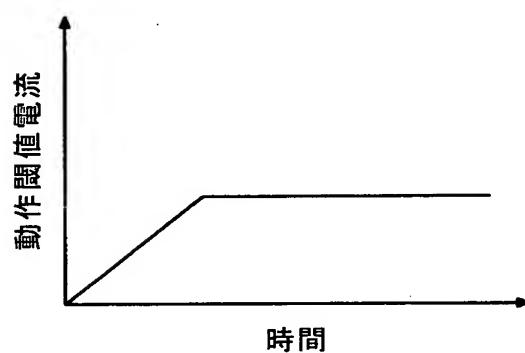


【図2】

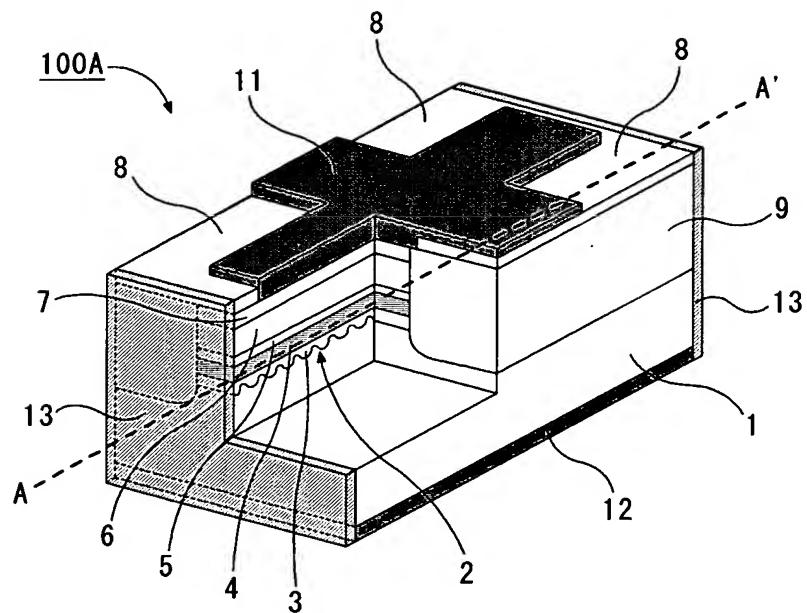
(a) 応力を発生する光学多層膜を
有する光半導体装置の特性



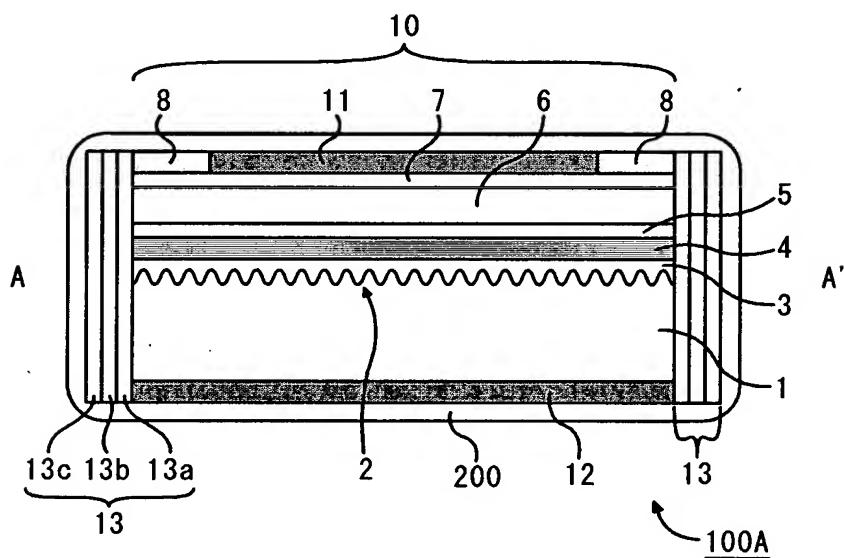
(b) 応力を発生しない光学多層膜を
有する光半導体装置の特性



【図3】

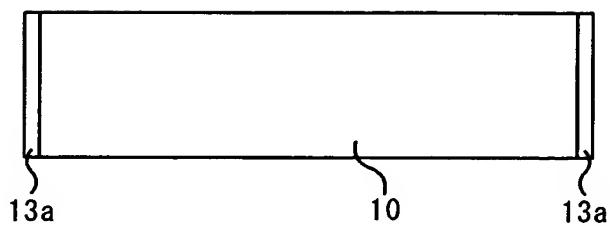


【図4】

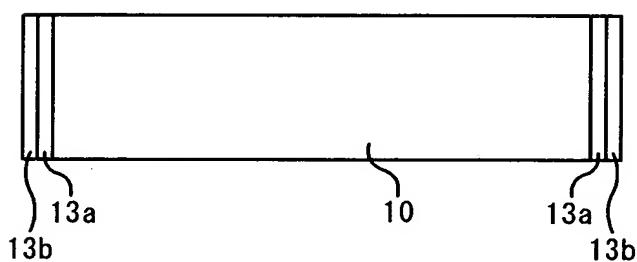


【図5】

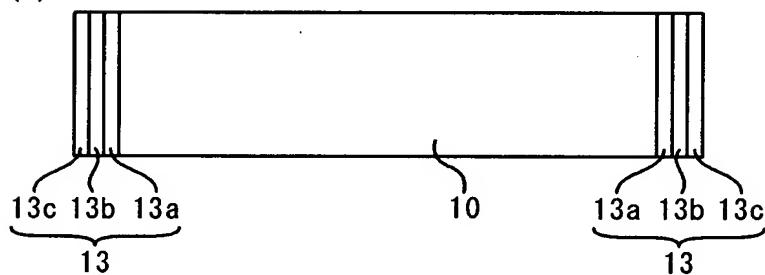
(a)



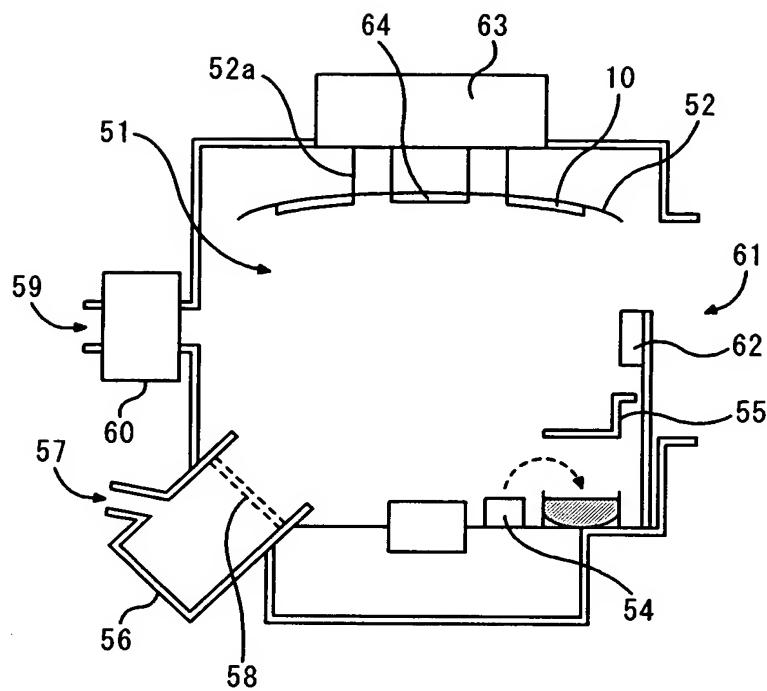
(b)



(c)

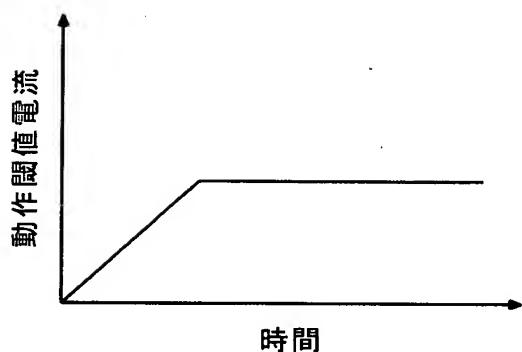


【図6】

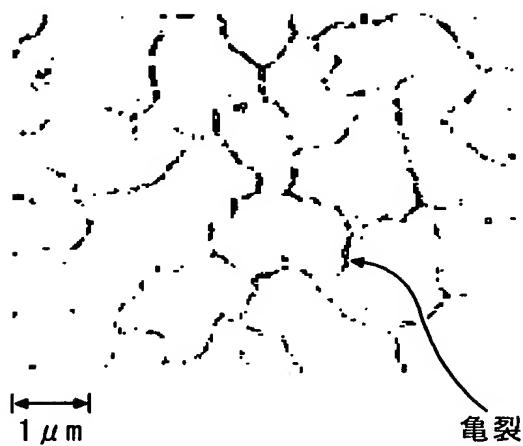


【図7】

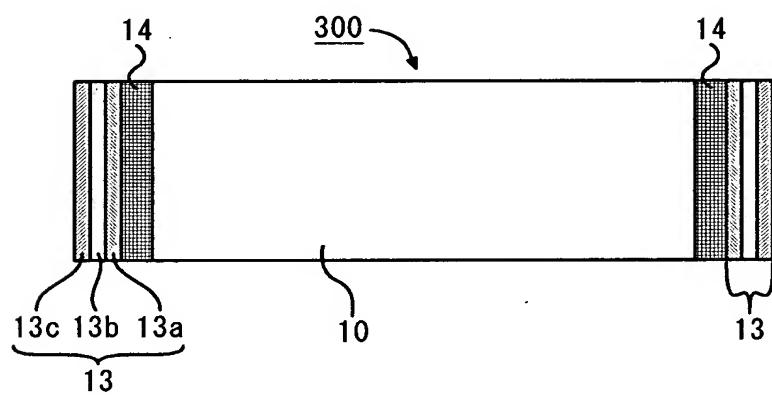
本発明の第1の実施形態による光半導体装置の特性



【図8】



【図9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光学特性をより安定化する光学多層膜、それを有する半導体装置並びに半導体レーザ、及び半導体装置の製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 半導体チップ10の両端に多層構造を有する光学多層膜13を形成する。光学多層膜13は、半導体チップ10に接する第1層13aから最外に位置する第3層13cまでの3層構造を有しており、樹脂200による封止された状態と封止されない状態とで良好な透過特性を発揮する。また、光学多層膜13における各層の屈折率は、第2層13bが最も高く、第1層13a及び第3層13cが第2層13bの屈折率よりも低い。更に、第1層13a及び第3層13cは例えば性質が圧縮の応力を生じる材料を用いて形成し、これらに挟まれる第2層13bは上記とは逆に性質が引張の応力を生じる材料を用いて形成する。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000154325]

1. 変更年月日 1992年 4月 6日

[変更理由] 名称変更

住 所 山梨県中巨摩郡昭和町大字紙漉阿原1000番地
氏 名 富士通カンタムデバイス株式会社